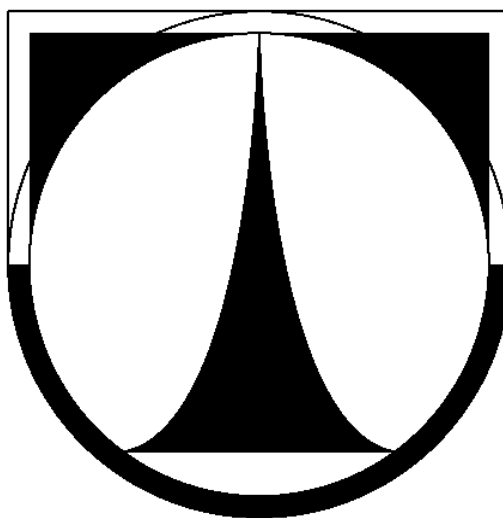


Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Jiří Mařátko

**NÁVRH METODIKY OBROBENÍ TVAROVĚ  
SLOŽITÉ SOUČÁSTI V CAD/CAM SYSTÉMU  
EDGE CAM**

**Bakalářská práce**

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Výrobní systémy

Zaměření: Výrobní systémy

**Návrh metodiky obrobění tvarově složité součásti  
v CAD/CAM systému EdgeCAM**

**Methodology study of machining of complex shaped part  
in CAD/CAM software EdgeCAM**

KVS–VS–96

Jiří Matátko

Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, PhD.

Počet stran: 36

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 42

Počet tabulek: 7

Počet modelů: 0

Počet jiných příloh: -

V Liberci dne 24.5.2011

**TÉMA:** **Návrh metodiky obrobení tvarově složité součásti v CAD/CAM systému EdgeCAM.**

**ANOTACE:** Tato bakalářská práce řeší problém výroby tvarově složité součásti. Pomocí systému EdgeCam vytváří obráběcí dráhy, strategie včetně generování NC kódu. Výroba součásti provedena na stroji MAZAK INTEGREX 100-IV.

**THEME:** Methodology study of machining of complex shaped part in CAD/CAM software EdgeCAM

**ANNOTATION:** This thesis addresses the problem of production of komplex shapes components. With EdgeCAM system creates cutting path, strategy, including the generation of NC code. Production of components performed on the machine MAZAK INTEGREX 100-IV.

**Klíčová slova:** EdgeCAM, Tvarově složitá součást, Mazak INTEGREX 100-IV

**Zpracovatel:** Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní,  
Katedra výrobních systémů

**Dokončeno:** 2011

**Archivní označení zprávy:**

**Počet stran:** 36

**Počet příloh:** 5

**Počet obrázků:** 42

**Počet tabulek:** 7

**Počet modelů:** 0

**Počet jiných příloh:** -

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kellerovi Ph.D. a také konzultantu Ing. Jiřímu Šafkovi DiS., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum 24.5.2011

Podpis .....

# **OBSAH**

## **1 Úvod**

1.1 Zaměření bakalářské práce .....	7
1.2 Cíl práce .....	7
1.3 EdgeCAM .....	7

## **2 Obráběcí operace**

2.1 Soustružení .....	8
2.1.1 Hrubování na profil .....	8
2.1.2 Hrubování pravoúhlé .....	8
2.1.3 Soustružení závitu .....	8
2.1.4 Soustružení zapichováním .....	8
2.1.5 Dokončení zápichu načisto .....	9
2.1.6 Soustružení upichováním .....	9
2.2 Frézování .....	9
2.2.1 Frézování čela plochy .....	9
2.2.2 Frézování hrubováním .....	9
2.2.3 Frézování profilováním .....	10
2.2.4 Frézování rovinné plochy .....	10
2.3 5-osé operace .....	11
2.3.1 Základní strategie 5-osých operací .....	11
2.3.1.1 Řádkování .....	11
2.3.1.2 Kolmo na křivku .....	12
2.3.1.3 Pružné řádky mezi křivkami .....	12
2.3.1.4 Sledovat tvar křivky .....	13
2.3.1.5 Průmět křivky na plochu .....	13
2.3.1.6 Pružné řádky mezi plochami .....	14
2.3.1.7 Rovnoběžné s plochou .....	14
2.4 Stroj .....	15

## **3 Tvorba a simulace obráběcího procesu**

3.1 Představení technologie .....	16
3.2 Postprocesor .....	16
3.3 Návrh polotovaru .....	17
3.4 Import 3D modelu .....	17
3.5 Tvorba obráběcího procesu .....	18
3.5.1 Soustružení obrysu součásti .....	18

3.5.1.1 Zarovnání čela .....	18
3.5.1.2 Hrubování .....	19
3.5.1.3 Dokončení vrcholků prstenců .....	19
3.5.2 Frézování pomocí 5-ti os .....	21
3.5.3 Frézování oblasti I. ....	22
3.5.4 Frézování levé boční strany pyramidek oblasti I. ....	22
3.5.5 Frézování pravé boční strany pyramidek oblasti II. ....	23
3.5.6 Frézování levé boční strany pyramidek oblasti II. ....	23
3.5.7 Frézování střední plochy oblasti II. ....	24
3.5.8 Frézování oblasti III. ....	25
3.5.9 Frézování pravé strany pyramidek IV. oblasti .....	26
3.5.10 Frézování drážky, boků pyramidek a radiální rotace .....	27
3.6 Upíchnutí součásti .....	29
3.7 Simulace výroby .....	29
<b>4 Výroba součásti</b>	
4.1 Úvod .....	30
4.2 Nastavení stroje .....	30
4.3 Zkušební výroba součásti .....	31
4.4 Finální výroba součásti .....	32
<b>Závěr</b> .....	34
<b>Literatura</b> .....	35
<b>Seznam příloh</b> .....	36

# **1 ÚVOD**

## **1.1 Zaměření bakalářské práce**

Tato bakalářská práce je zaměřena na výrobu tvarově složité součásti. Pro obrobení a simulaci je využita studentská verze programu EdgeCAM 12.50.0. a samotná výroba je provedena na obráběcím centru Mazak INTEGREX 100-IV.

## **1.2 Cíl práce**

Cílem je vyrobit tvarově složitou součást vhodným způsobem a zároveň efektivně zohlednit povahu výrobku, geometrii, tvar, kvalitu povrchu a vzhled. Tvarově složitou součást lze vyrábět např. výrobou na NC stroji, odléváním, metodou 3D tisku Rapid Prototyping. Jako nejvýhodnější metoda bylo vybráno obrábění na NC stroji. Je tedy třeba vytvořit celý systém prvků, které jsou nezbytné k výrobě.

## **1.3 EdgeCAM**

EdgeCAM je přední CAM systém, který umožňuje programování frézovacích, soustružnických a soustružnicko-frézovacích strojů. Kombinuje uživatelsky příjemné prostředí a intuitivní ovládání se sofistikovanou tvorbou drah nástroje. EdgeCAM patří mezi nejlepší produkty světově nejrychleji rostoucí společnosti, zabývající se vývojem a prodejem CAM systémů. Jedná se o kompletní softwarové CAM řešení jak pro produkční obrábění, tak i pro výrobu tvarových forem a zápustek. S kompletním rozsahem 2 - 5 osých frézovacích operací, s podporou pro soustružení a soustružnicko-frézovací centra, v kombinaci s dokonalou CAD integrací a důmyslnými automatickými nástroji. Systém je navržen tak, aby zvládal programování jednoduchých i velmi složitých součástí a nabízí plnou podporu pro poslední verze CAD systémů, obráběcích strojů, nástrojů a nejmodernějších technologií. EdgeCAM je dodáváný celosvětově přes síť specializovaných certifikovaných partnerů. Strategickým partnerem Planit group pro Českou a Slovenskou republiku je společnost NEXNET, a. s. [4]

## 2 OBRÁBĚCÍ OPERACE

### 2.1 Soustružení

#### 2.1.1 Hrubování na profil

Cyklus *Hrubování na profil* je používán k odstranění materiálu od obrysu polotovaru, nebo od výchozího bodu nástroje k cílovému tvaru (profilu) obrobku postupnými záběry se zadanou hloubkou třísky. Hrubovat se může s přídavkem na průměr, nebo také na čelo profilu součásti. Hrubovací cyklus je ovlivněn tvarem polotovaru. Může se jednat o odlitek, výkovek a další. Tento technologický postup je využíván i pro předběžně upravené dílce, které se před obrobením tepelně zpracovávají. [1]

#### 2.1.2 Hrubování pravoúhlé

Cyklus se nejčastěji používá na začátku soustružení obrobku k orovnění jeho čela - tzn. axiálně, může být použit i při obrábění podél osy soustružení - tzn. radiálně. Je zde odebírána obdélníková oblast, která je vymezena dvěma body úhlopříčky obdélníka. Nástroj odebírá materiál postupnými záběry ve směru delší strany určeného obdélníka pracovním posuvem, zatímco přísuv do řezu je ve směru kratší strany obdélníka. Pravoúhlé hrubování je možno použít s přídavkem na průměr a čelo profilu součásti. [1]

#### 2.1.3 Soustružení závitu

Geometrií pro soustružený závit je většinou úsečka (je-li pod úhlem, jde o kuželový závit). Zbývající modifikátory a parametry závitu se určí v okně dialogu cyklu. [1]

#### 2.1.4 Soustružení zapichováním (hrubování zápichu)

Podle principu obrábění se rozlišují dva hlavní způsoby soustružení zápichů a vybrání:

- **Tvarovým nožem**, kdy jeho ostří má přímo tvar zápichu.
- **Úběrem třísky**, kdy tvar nože neodpovídá přímo tvaru zápichu. Hrubování je v tomto případě provedeno zapichovacím obráběním nebo rozjížděním. [1]



### **2.1.5 Dokončení zápichu načisto**

Cyklus slouží k obrobení zápichů a vybrání načisto. Používá se po předchozím hrubování zápichu nebo přímo u přesně odlitých nebo kovaných polotovarů. Jako nástroj se předpokládá běžný zapichovací nůž. [1]

### **2.1.6 Soustružení upichováním**

Tato operace je určena k upichování neboli dělení soustružnických obrobků. Jeho použitím výrazně klesne počet voleb operátora v menu a panelech. Pro speciální případy je možno operaci ve stromu zpracování rozvinout a upravit příslušný vnitřní cyklus, případně i ostatní příkazy operace s využitím všech modifikátorů a parametrů. [1]

## **2.2 Frézování**

### **2.2.1 Frézování čela plochy**

Slouží k zarovnání vymezené oblasti do roviny rovnoběžné s rovinou obrábění, tzn. do roviny kolmé k ose nástroje. Cyklu je třeba vymezit hranice zarovnávané oblasti. Je možno označit řadu navazujících prvků tvořících obvod, geometrický profil nebo vhodný útvar dílu. Pokud se např. označí náletek modelu, zarovná se jeho nejvyšší rovinná část. Cyklus respektuje i ostrovy uvnitř zarovnávané oblasti. Pokud však je označená oblast neuzavřená, nebo se oblasti překrývají, EdgeCAM vydá varovnou zprávu. [1]

### **2.2.2 Frézování hrubováním**

Hrubuje se postupnými záběry v ose Z, přičemž dráhy nástroje v záběrech mohou sledovat tvar obvodu záběru neboli koncentrické, spirální nebo řádkovací. Cyklus lze použít na rovinnou i prizmatickou geometrii, obecné plochy a objemové solid i STL modely. Zvláštním specifickým rysem cyklu je možnost určení pro každou obráběnou oblast (vymezenou zónu obrábění) bod, ve kterém se začne daná oblast hrubovat. Cyklus je optimalizován pro vysokorychlostní obrábění s návazně tečnými přejezdy nástroje a optimální výškou přejíždění. Je možno též použít trochoidní pohyb nástroje při šířce hrubování na plný průměr frézy. Cyklus je možno využít i k odstraňování zbytků materiálu po předchozím větším hrubovacím nástroji, také lze označit předchozí hrubovací dráhy, které EdgeCAM využije při odstraňování zbytků. [1]

### **2.2.3 Frézování profilováním**

Tento cyklus se používá pro dokončení tvaru obrobků objížděním nástroje podél rovinných profilů (v rovinách XY) postupně ve směru třetí osy Z. Umožňuje však i pohyb nástroje podél prostorového profilu křivky, podřezávání ploch zespodu, obrobení zbytků po předchozím nástroji atd.. Lze ho použít na rovinnou nebo prizmatickou (2D, 2.5D) geometrii, obecné plochy, modely a STL modely. Pokud je modelem pouze drátový rovinný profil, lze k němu nadefinovat i boční stěnu a podle jejího průběhu obrobit profil do hloubky i včetně vnitřních ostrovů. [1]

### **2.2.4 Frézování rovinné plochy**

Tento způsob obrábění je určen k obrobení načisto rovinných částí kolmých k ose nástroje. Na solid a plošných modelech s použitím válcové čelní nebo kulové frézy. Je ideální pro obrobení prizmatických součástí, na kterých se vyskytují vodorovná odstupňování, příruby apod. Obráběné plochy musí být rovinné, nelze tento postup používat pro obrábění mírně zakřivených ploch. Při použití cyklu se automaticky zjistí rovinné zóny na modelu a obrobí se koncentricky, řádkováním, nebo jen objezdem podél okraje zóny. Rovinné plochy je možno obrábět i s přídavkem k ploše. [1]

## 2.3 5-osé obrábění

Cyklus je používán pro souvislé řízení pohybu nástroje až v pěti osách, ve třech přímočarých osách – XYZ a dvou osách rotačních - BC. Používá se např. u součástí se složitým tvarem, k dokončování složitých a nepřístupných ploch nebo dutin čelních. Fréza je řízena sklonem její osy podle tvaru plochy.

### Obráběné a chráněné plochy

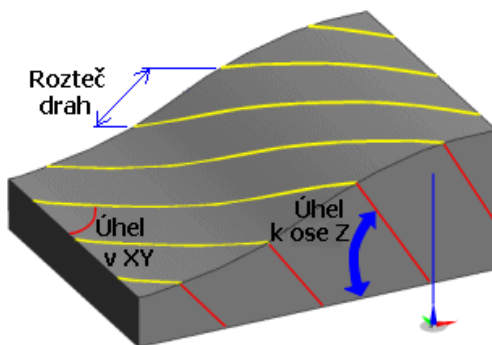
Dráha nástroje se odvozuje od dvou typů ploch.

- **Řídící**, na kterých probíhá obrábění a podle kterých se řídí poloha, a náklon nástroje. [1]
- **Chráněné**, které mají být obráběním nedotčeny. Ty lze použít ke kontrole podřezávání a kolizí nástroje a držáku. Dráha nástroje může být použitím kontrolních chráněných ploch upravena. Plochy obráběné v 5-osém cyklu mohou být vytvořeny buď v režimu Design EdgeCAM, nebo importovány díly, které byly vytvořeny v různých modelovacích programech. Tyto plochy je nutno předem označit, protože nesmějí být poškozeny. [1]

### 2.3.1 Základní strategie 5-osých operací

#### 2.3.1.1 Řádkování

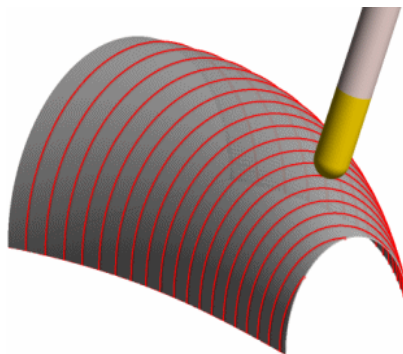
Řezné dráhy nástroje jdou po průsečnicích řady rovnoběžných rovin s obráběnou plochou. Směr rovnoběžných průsečnicových rovin je určen úhlem v rovině XY a jejich svislý sklon úhlem k ose Z. Vzdálenost mezi rovinami udává parametr rozteč drah. [1]



Obr. 1 – Řádkování [1]

### 2.3.1.2 Kolmo na křivku

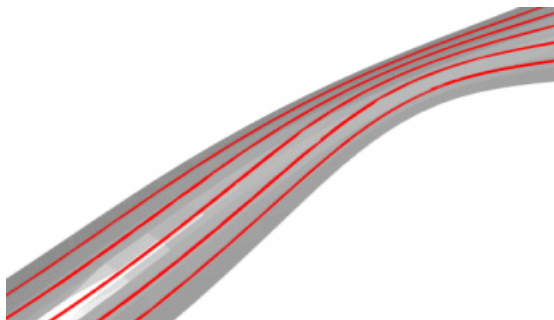
Řezné dráhy budou kolmé na označenou křivku (profil). [1]



Obr. 2 – Kolmo na křivku [1]

### 2.3.1.3 Pružné řádky mezi křivkami

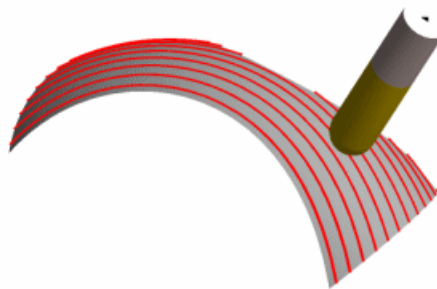
Dráhy se odvozují od dvou označených křivek s plynulou změnou jejich tvaru od jedné ke druhé křívce. [1]



Obr. 3 - Pružné řádky mezi křivkami [1]

#### 2.3.1.4 Sledovat tvar křivky

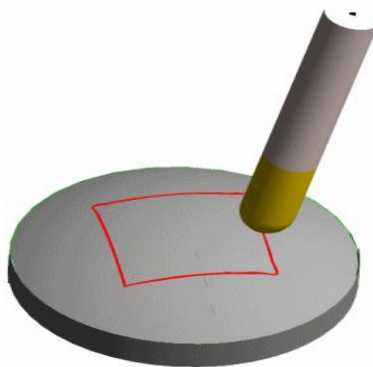
Dráhy jsou v rovnoběžném směru s označenou křivkou - sledují její tvar. [1]



Obr. 4 - Sledovat tvar křivky [1]

#### 2.3.1.5 Průmět křivky na plochu

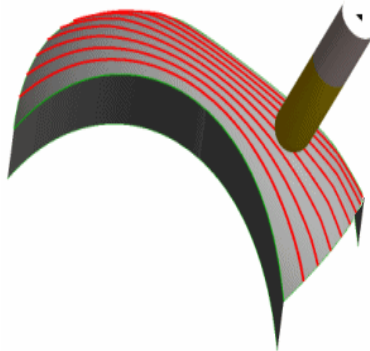
Na plochu se promítne označená čára (profil, křivka) a dráha nástroje jde po křivce na ploše, která průmětem vznikne. Pozor: Promítaná čára - křivka musí být těsně nad obráběnou plochou. [1]



Obr. 5 - Průmět křivky na plochu [1]

### 2.3.1.6 Pružné řádky mezi plochami

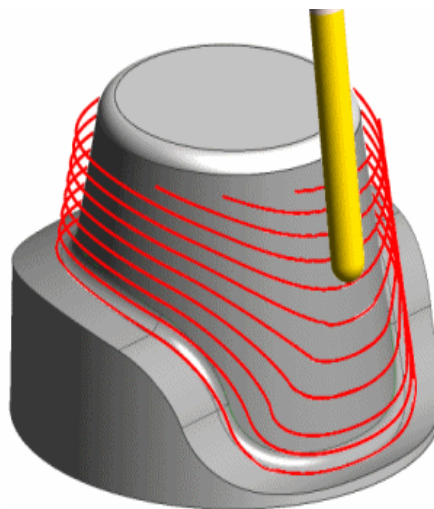
Dráhy jsou odvozovány od dvou průsečnic obráběné plochy se dvěma označenými plochami, které ji protínají. [1]



Obr. 6 – Pružné řádky mezi plochami [1]

### 2.3.1.7 Rovnoběžně s plochou

Řezné dráhy na povrchu obráběné plochy jsou rovnoběžné s další označenou plochou (mají rovnoběžně posunutý profil této plochy). [1]



Obr. 7 – Rovnoběžně s plochou [1]

## 2.4 Stroj

Stroj je navržen tak, aby dosáhl zvýšení produktivity CNC řízených soustružnických center. Součástí nástrojového vřetena je naklápěcí osa B a umožňuje nástroj nastavit do úhlu, který požaduje daná situace. Velká část soustružených obrobků vyžaduje ještě k dokončení řadu dalších operací jako frézování, vrtání a řezání závitů i na šikmých plochách. Stroj z řady INTEGREGX umožňuje součást vyrobit na jedno upnutí. Stroj je vybaven dvoujádrovým procesorem v 64 bitovém CNC řídicím systému MAZATROL Matrix. Dále obsahuje procesor pro řízení stroje s PC technologií a Windows XP. Pevný disk 20 GB s dvěma Cardbus sloty a PCMCIA rozhraním umožňuje rychlejší a efektivnější práci s potřebnými soubory. [3]

Typ stroje INTEGREGX	100 - IV
Velikost hlavního vřetenového sklíčidla	6°
Max. strojní průměr (osa X) [mm]	545
Max. strojní délka(osa Z) [mm]	570
Y osa zdvih [mm]	70
B osa zdvih [mm]	-30/+195
Rychlost hlavního vřetena [1/min]	6000
Rychlost nástrojového vřetena [1/min]	12000
Kapacita zásobníku	20

Tab. 1 – Technické parametry Mazak INTEGREGX 100 – IV [5]

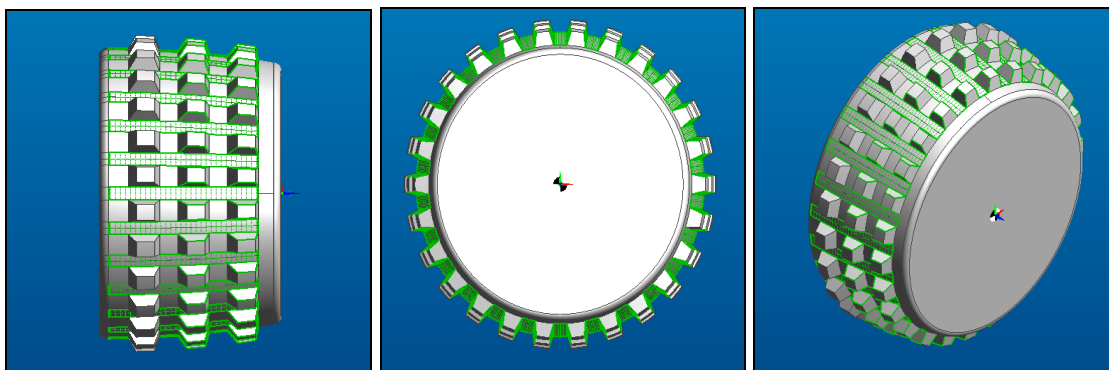


Obr. 8 – Mazak INTEGREGX 100 - IV

### 3 TVORBA A SIMULACE OBRÁBĚCÍHO PROCESU

#### 3.1 Představení technologie výroby

Úkolem je vyrobit tvarově složitou součást technologií třískového obrábění, výroba bude provedena na obráběcím centru Mazak INTEGREX 100-IV z umělého dřeva. Využity budou 3 typy nástrojů - pravý soustružnický nůž, fréza průměru 2 mm a upichovací nůž. Pro výrobu této součásti bude nutné zapojit více obráběcích operací. A to soustružení, 5-osé frézování a samozřejmě upíchnutí.



Obr. 9 - Představení výrobku

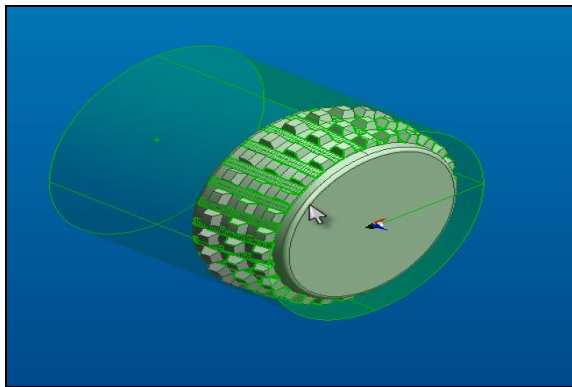
#### 3.2 Postprocesor

První a velmi důležitou částí je zapojit postprocesor INTEGREX. Díky jemu je možno převést prostředí, vlastnosti a grafické zobrazení stroje přímo do programu EdgeCAM. Dále bylo nutné, pro přesné zobrazení simulace, zavést grafiku samotných nástrojů.

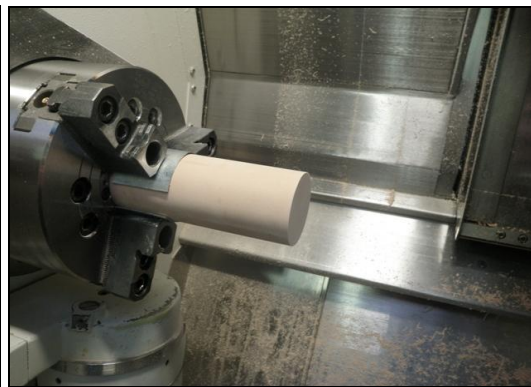


### 3.3 Návrh polotovaru

Velikost polotovaru byla navržena  $\varnothing 50 - 130$  mm, z důvodu zarovnání čela obrobku byl nastaven přídavek na čele 1 mm. Pro snadnější obrobení byla zvolena délka polotovaru 130 mm, protože by při frézování prstenců docházelo ke kolizi nástrojové hlavy s bokem pracovního pole. Tento nežádoucí jev byl eliminován délkou polotovaru.



Obr. 10 - Polotovar v EdgeCAMU



Obr. 11 - Polotovar při reálné výrobě

### 3.4 Import 3D modelu

Vymodelovaný 3D díl byl importován do programu, souřadné systémy modelu a programu EdgeCAM nejsou totožné. Proto je nutno dále model ustavit vůči počátku. Důležitým krokem je použití *Polohovat pro soustružení*. Tato funkce slouží k přesnému sladění stroje a definování nulového bodu W obrobku.

### 3.5 Tvorba obráběcího procesu

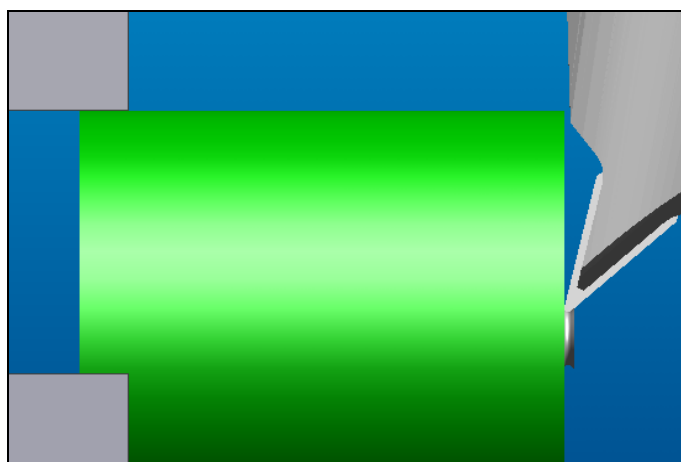
Při tvorbě obráběcího procesu je nutné použít více cyklů. Při výběru postupných obráběcích operací je zapotřebí přihlídnout k strategii obrábění a vhodnosti strojního času operace, trajektorii nástroje a produktivitě. Obráběcí postup je nastaven tak, že se v první řadě osoustruží čelo obrobku, dalším hrubováním se získá prstencový tvar. Poslední soustružnickou operací, když bude opomenuto upíchnutí, je dokončení finálních rozměrů vrchních hlaviček pyramidek. Další operace jsou zaměřeny na 5-osé obrábění a závěrečné upíchnutí.

#### 3.5.1 Soustružení obrysu součásti

Tento způsob výroby je použit z důvodu snadného a účinného úběru materiálu - nahrubo. Při dalších operacích se nebude obrábět takové množství materiálu, a tedy i nástroje nejsou vystaveny zbytečnému namáhání a opotřebení. Nejprve se použije funkce *Rozpoznat útvar*, která je schopna rozeznat křivky, tvary a profily modelu.

##### 3.5.1.1 Zarovnání čela

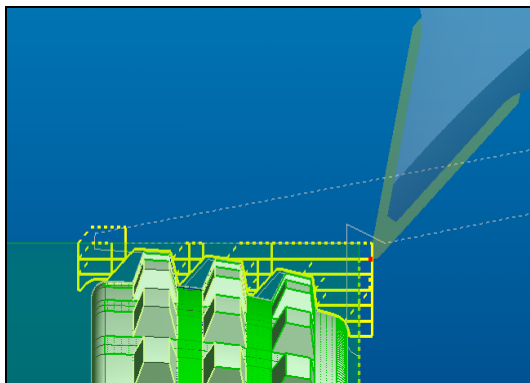
První operací je zarovnání čela pomocí funkce *Dokončení dle profilu*. Nejdříve je zapotřebí nastavit tvar profilu (konturu), který bude obráběn. Dále bude nastaven startovací bod a poté i bod koncový. Koncový bod bude posunut směrem za střed obrobku (ve směru obrábění) z důvodu tvoření nežádoucího výčnělku, který způsobuje rádius nástroje.



Obr. 12 - Soustružení čela

### 3.5.1.2 Hrubování

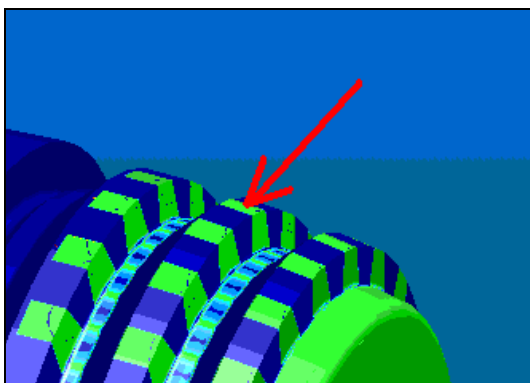
Další funkcí, která je využita, je *Hrubování na profil*. Vybrán byl profil pro obrobení, kde určíme počáteční a koncový bod, nakonec však také bod startovací. V tomto cyklu hrubování je přidán přídavek na soustružení, který je v ose X 0,2 mm a v ose Z také 0,2 mm. Nástroj by však zajížděl do chráněných ploch obrobku, proto musel být vychýlen o úhel 82°. Tento úhel byl shledán jako neoptimálnější. Na obrázku č. 13 jsou znázorněny dráhy nástroje.



Obr. 13 - Hrubování profilu

### 3.5.1.3 Dokončení vrcholů prstenců

Poslední operací před 5-osým frézováním je tzv. *Dokončení dle profilu*. Tato funkce je využita pro přesné a konečné zarovnání vrcholů prstenců. Jejím použitím je dosažen kvalitní povrch a přesnost vrcholů prstenců.



Obr. 14 - Zobrazení vrcholů pyramidek

Technologické hodnoty operace	
Nástroj	Pravý
Řezná rychlost [m.min <sup>-1</sup> ]	120
Posuv na otáčku [mm.ot <sup>-1</sup> ]	0,07
Hloubka záběru [mm]	-
Přídavek Z [mm]	0
Přídavek X [mm]	0
Dojezd na konci [mm]	0,5
Délka úsečky vyjetí [mm]	1

Tab. 2 – Zarovnání čela

Technologické hodnoty operace	
Nástroj	Pravý
Řezná rychlost [m.min <sup>-1</sup> ]	100
Posuv na otáčku [mm.ot <sup>-1</sup> ]	0,1
Hloubka záběru [mm]	1
Přídavek Z [mm]	0.2
Přídavek X [mm]	0.2
Rádus nože [mm]	0,4
Vychýlení nástroje	82°

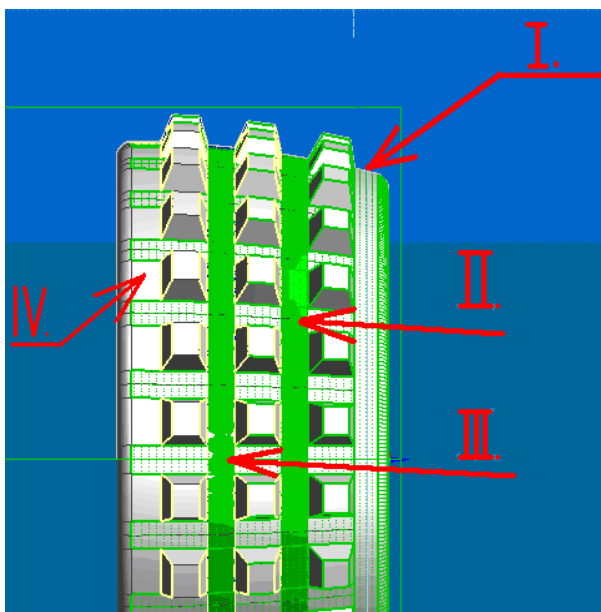
Tab. 3 – Hrubování na profil

Technologické hodnoty operace	
Nástroj	Pravý
Řezná rychlost [m.min <sup>-1</sup> ]	120
Posuv na otáčku [mm.ot <sup>-1</sup> ]	0,07
Hloubka záběru [mm]	-
Přídavek Z [mm]	-
Přídavek X [mm]	-
Rádus nože [mm]	0,4

Tab. 4 – Dokončení dle profilu

### 3.5.2 Frézování pomocí 5-ti os

Jelikož není možné při soustružení obrobit ostré hrany díky rádiu nástroje, je nutné zapojit do obráběcích cyklů také frézování a odstranit zbytky materiálu. Pro snadnější pochopení byly obráběné plochy rozděleny do třech oblastí. Proto budou tyto plochy dále popisovány jako oblasti I., II., III., IV; popřípadě pravá strana oblasti I., levá strana oblasti II. atd.

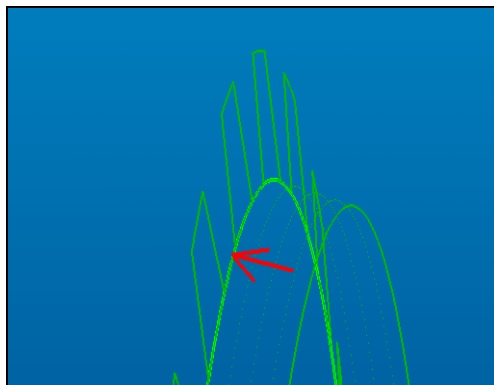


Obr. 15 - Rozdělení modelu do obráběcích oblastí

Nejprve bylo však nutné křivky a plochy, kterými se má nástroj řídit, vytvořit. Přepnutím do režimu *Design* a využití panelu *Objemové modely* je možné ony útvary vynést a využít pro řízení nástroje. Zde nebylo možné použít funkci *Rozpoznat útvary*, protože na modelu bylo velké množství ploch a program je nebyl schopen rozpoznat. Proto byly vytvořeny samostatně.

### 3.5.3 Frézování oblasti I.

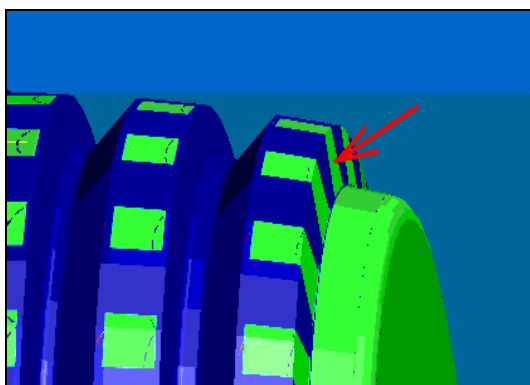
Obrábění se provede válcovou frézou pomocí 5-osé operace *Sledovat tvar křivky*, kde dráha nástroje v rovnoběžném směru kopíruje tvar křivky (Obr. 16). Důležitými funkcemi při této operaci jsou *Úhel bočního náklonu nástroje* (o 90°) a řízení *Podle plochy*. Zde je obráběna pouze plocha bez krátkých mezer a není tudíž zapotřebí pokynu *Krátké mezery*, které budou použity až v dalších operacích.



Obr. 16 - Řídící křivka

### 3.5.4 Frézování levé boční strany pyramidek oblasti I.

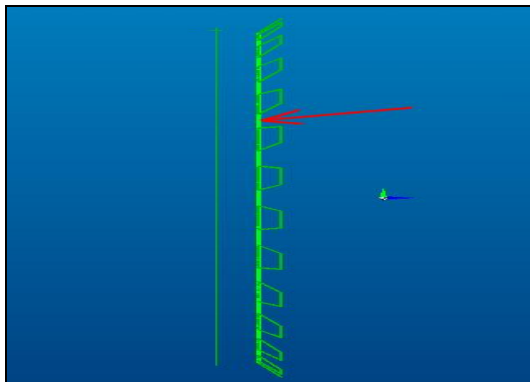
Pro práci je zvolena opět válcová fréza. Použije se funkce *Sledovat tvar křivky*. Aby nedocházelo k obcházení a tím i ke špatnému obrobení, musíme zde zapojit v panelu *Přejezdy* funkci *Přejezdy krátkých a dlouhých mezer, Plynule*. Tyto funkce jsou konstantně nastaveny na hodnotu 3 mm.



Obr. 17 - Dynamický pohled obrobenejších  
ploch pyramidek oblasti I.

### 3.5.5 Frézování pravé strany pyramidek oblasti II.

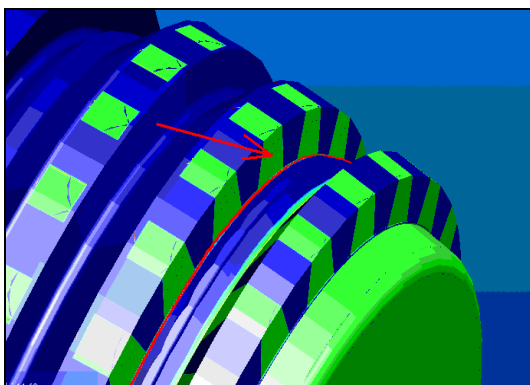
Tato strana bude obráběna operací *Sledovat tvar křivky*. Křivka, podle které se nástroj řídí, je uvedena na obrázku níže. I v tomto případě *Kontaktní bod* nástroje bude nastaven na *Zaoblení rohu*. Náklon bočního úhlu nástroje je vychýlen o  $90^\circ$  a je řízen podle vyznačené plochy. Přejíždění krátkých mezer zůstává na režimu *Plynule*, délka krátké mezery je konstantně nastavena na 3 mm. Smysl frézování je sousledný.



Obr. 18 - Řídící křivka pro obrobení pravé strany

### 3.5.6 Frézování levé strany pyramidek oblasti II.

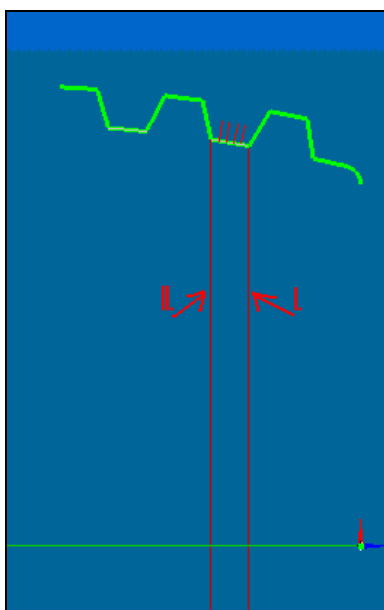
Obrábění proběhne stejnou operací, a to *Sledovat tvar křivky*, bude zde však rozdílné nastavení osy nástroje. Způsob náklonu osy nástroje je upraven na *Konstantní úhel k osám*. Osou pro náklon je osa Z. Přejezdy krátkých a dlouhých mezer zůstávají na stálém nastavení 3 mm.



Obr. 19 – Plocha a řídící křivka levé strany oblasti II.

### 3.5.7 Frézování střední plochy oblasti II.

Pro vybrání materiálu byla zvolena operace *Pružné řádky mezi křivkami*. Způsob, kdy se dráhy nástroje odvozují od dvou označených křivek a nástroj následně kopíruje plynule změnu jejich tvaru. Ač se na první pohled zdá, že jde o jednoduchou operaci, bylo zapotřebí obráběnou plochu zkonstruovat v *Design* režimu, a to pomocí dvou kružnic a křivky, která charakterizuje obrys plochy. Pro přesné usazení kružnic, tak aby křivky přesně souhlasily s potřebnou hranou, bylo nutné vyměřit poloměry a nalézt souřadnici Z. Jelikož je střed kružnice na ose Z, je souřadnice X zadávána 0. Ke zjištění vzdálenosti a poloměru se vychází z nulového bodu W obrobku.



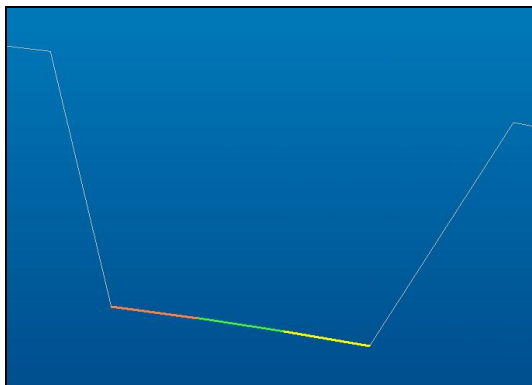
Obr. 20 – Pomocné kružnice I. a II.

Středů pomocných kružnic oblasti II.		
	Z	X
Kružnice I.	-5.899	0
Kružnice II.	-7.899	0

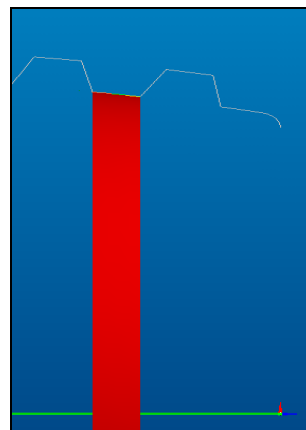
Tab. 5 – Středů pomocných kružnic

Dalším úkolem bylo rozdělit profil obrobku (Obr. 21) na segmenty charakterizující tvar křivky. Poté bylo možné vytvořit plochu pomocí funkce *Skupina ploch*, podle které se mohl nástroj řídit. Komplikací však bylo špatné nastavení normál (Obr. 20), které jsou kolmé na plochu. Směřovaly směrem do obrobku, což se negativně projevovalo na dráze nástroje, která byla umístěna programem uvnitř materiálu. Přepnutím jejich orientace byl problém vyřešen a konstrukce dráhy nástroje proběhla v pořádku.





Obr. 21 – Rozdělení křivky na segmenty

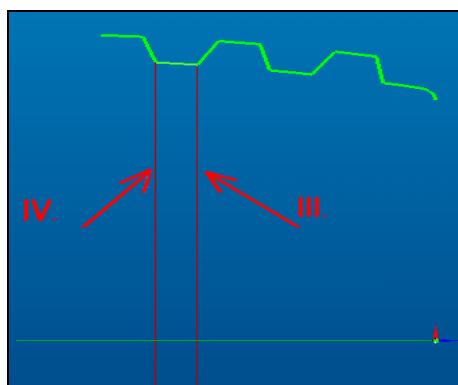


Obr. 22 – První pomocná plocha

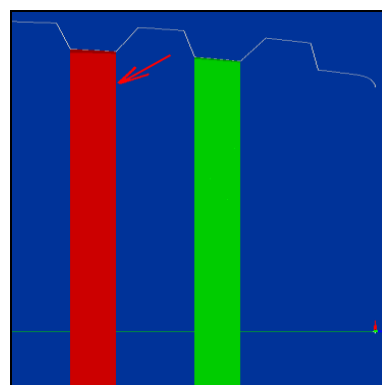
Samotné obrobení je provedeno, jak bylo již výše předesláno, operací *Pružné řádky mezi křivkami*. Jako řídicí křivky byly využity zkonstruované kružnice (Obr. 20). Důležitým faktorem je zde řízení osy nástroje, kde užíváme funkci *Relativně ke směru pohybu*, úhel bočního natočení byl nastaven na  $180^\circ$  a řízen podle zkonstruované plochy (obr. 22). Kontaktní bod nástroje s obrobkem je dále určen funkcí *Automaticky*. To znamená, že bod styku s plochou nemusí být dodržen a mění se takovým způsobem, aby nedocházelo k podřezávání ploch okrajem frézy.

### 3.5.8 Frézování oblasti III.

Pro obrobení byla využita 5-osá operace *Pružné řádky mezi křivkami*. I v tomto případě je nutné konstruovat dvě pomocné kružnice a rozdělit křivku charakterizující tvar plochy na segmenty. Celá oblast III. je vytvořena stejným způsobem jako oblast II. Proto zde nebude dále detailněji popisována. Pouze tvorba pomocných kružnic (Obr. 23), rozdělení na segmenty a plochy (Obr. 24) .



Obr. 23 – Pomocné kružnice  
III. a IV.



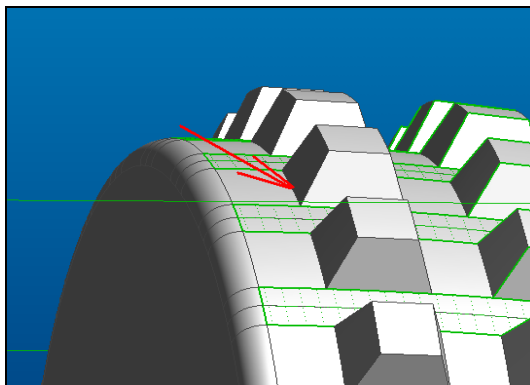
Obr. 24 – Pomocná plocha  
pro oblast III.

Středý pomocných kružnic oblasti III.		
	Z	X
Kružnice III.	-11.336	0
Kružnice IV.	-13.336	0

Tab. 6 – Středý pomocných kružnic

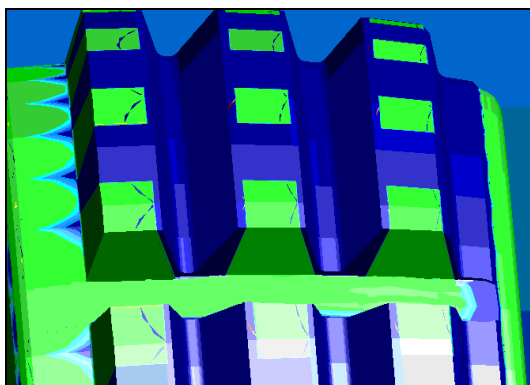
### 3.5.9 Frézování pravé strany pyramidek IV. oblasti

Oblast IV. je formována stejným způsobem jako oblast I. Liší se pouze parametry řídících křivek a ploch. Pravé strany pyramidek budou obráběny operací *Sledovat tvar křivky*. Je zbytečné, aby střední plocha oblasti IV. byla obráběna pomocí frézy. Plochu je možné upravit formou soustružení, a to upichovací operací. Hlavním důvodem je zkrácení výrobního času a snížení výrobních nákladů. Na kvalitu a přesnost povrchu by tento způsob neměl mít vliv.



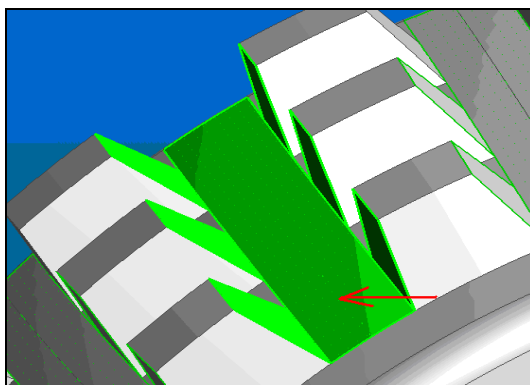
Obr. 25 – Řídící křivka

### 3.5.10 Frézování drážky, boků pyramidek a radiální rotace



Obr. 26 – Dynamický pohled obrobene drážky

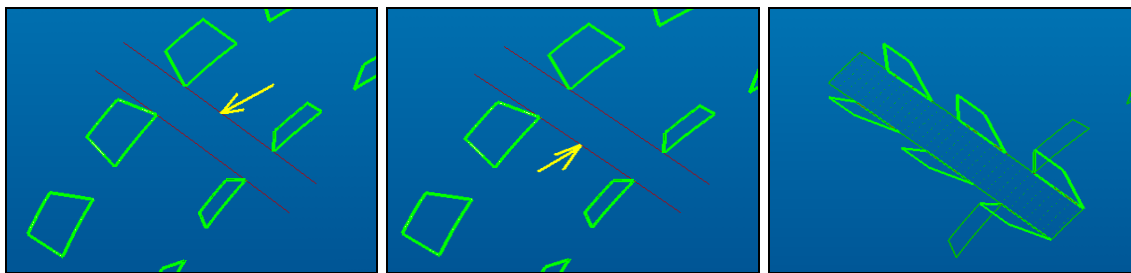
Tvorba pomocné plochy a křivek byla první důležitou záležitostí pro správnou konstrukci dráhy nástroje.



Obr. 27 – Zobrazení drážky střední a bočních ploch

Při tvorbě drah je využita operace *Pružné řádky mezi křivkami*. Je to základní funkce, podle které se bude drážka vyrábět. *Řízení náklonu nástroje* zde nebude upravováno. Napojení obrábění na obrobek je v rovině vodorovné se sousledným smyslem frézování.

Pro vytvoření boků pyramidek byly použity funkce *Sledovat tvar křivky*. I zde bylo nutné správně vytvořit a zvolit pomocné křivky a také plochy, podle kterých se bude nástroj řídit. *Řízení náklonu nástroje* formou *Relativně ve směru pohybu* a *Úhel bočního náklonu nástroje* je nastaven na  $90^\circ$ . Je nutno dodat, že se v tomto případě jedná o dvě totožné operace. Jediný rozdíl je zde v odlišnosti řídicích křivek a ploch.



Obr. 28 – Řídící křivky a plochy

Po zhotovení jedné drážky i s boky pyramidek v programu EdgeCAM je využita funkce *Transformace* a její podfunkce *Radiální rotace (k ose)*. Tato funkce umožní zkopírovat různé operace kolem osy, v našem případě kolem osy Z. Bylo zřejmé, že se na obrobku drážka se svými boky nachází 26-krát. Je si však nutno uvědomit, že drážka byla již jednou obrobena, proto je úhel  $360^\circ$  dělen číslem 26, ale operace se opakuje pouze 25-krát.

Technologické hodnoty operace všech 5-osých operací		
Nástroj		Fréza průměr 2 mm
Posuv [mm/min]		200
Přisuv [mm/min]		200
Otáčky [ot/mm]		8000
Najetí/Vyjetí	Způsob napojení	V rovině svislé
	Úhel [°]	90
	Poloměr [mm]	2
Přejezdy	Krátké přejezdy	Plynule
	Dlouhé přejezdy	Plynule
	Krátké mezery do délky [mm]	3
	Dlouhé mezery	Plynule

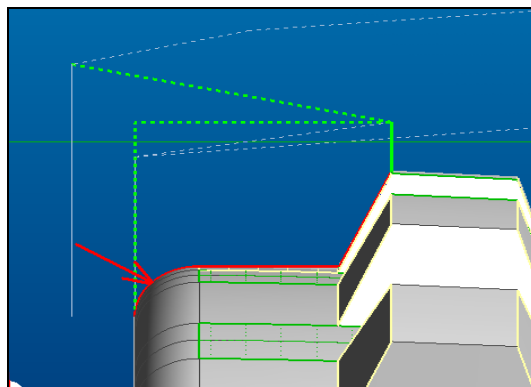
Tab. 7 – Technologické hodnoty 5-osých operací

### 3.6 Upíchnutí součásti

Jedná se o poslední, tedy finální operaci. Je však rozdělena na tři části. První - nůž lehce najede do materiálu a tím připraví drážku (Obr. 29) pro další upichování. Druhá část, kdy nůž kopíruje koncový profil obrobku (Obr. 30). Tento způsob obrábění byl zvolen z důvodu snadnějšího obrobení, protože zde nemusela být použita 5-osá operace. Poslední, tedy třetí částí je samotné oddělení výrobku od polotovaru. Toto upíchnutí nebylo úmyslně dokončeno až za střed polotovaru, protože by při úplném rozdělení došlo k pádu do vany obráběcího prostoru. Tím by mohlo dojít k poškození výrobku. Proto zde uvažuje, že bude po upíchnutí výrobek odlomen a upraven ručně. Jako obráběcí postup byla zvolena funkce *Dokončit zápich*.



Obr. 29 – Drážka pro další upichování



Obr. 30 – Koncový profil tvar obrobku

### 3.7 Závěrečná simulace výroby

Simulace výrobního postupu bude uvedena formou přílohy.

## 4 VÝROBA SOUČÁSTI

### 4.1 Úvod

Jelikož se jedná o prototypovou výrobu, byl zde zvolen materiál - umělé dřevo. Při výrobě z umělého dřeva není vhodné používat chladicí kapalinu, protože ji dřevo vsaje do sebe a zcela ztratí své vlastnosti. Pro další obrábění se stává nepoužitelné.

Po finální kontrole vytvořených drah nástroje bude použita simulace, a to ještě před vložením NC kódu do stroje. Simulace je schopna odhalit případné kolize nástroje a držáku, atd. Tím předejdeme možným komplikacím. Jelikož zde nebyla nalezena žádná chyba, je možné nastavit stroj a pokračovat ve výrobě.

### 4.2 Nastavení stroje

Nejprve je třeba určit nulový bod nástroje P a poté i nulový bod obrobku W. Oba tyto body určíme pomocí měřících sond. Dále určíme polohu nástrojové hlavy najetím do referenčního bodu R, aby byl stroj schopen rozeznat polohu nástroje v pracovním prostoru. Prvním nástrojem, který byl nastaven, je soustružnický nůž. Po soustružnických operacích byla také seřizena fréza.



Obr. 31 - Seřízení soustružnického nože



Obr. 32 – Seřízení frézy

### 4.3 Zkušební výroba součástí

Nejprve byla provedena zkouška vytvořených drah v programu EdgeCAM, a proto je také polotovár vysunut až přes příliš ze sklíčidla (Obr. 33). Je jasné, že výsledný zkušební obrobek nebude mít potřebnou kvalitu, přesnost, správný tvar, a to z důvodu působení velké síly a velkého ohybového momentu obráběcího nástroje na polotovár. Umělé dřevo nepatří mezi zvláště pevné materiály. Přílišná délka polotovaru tuhost ještě snížila. Což se také při zkoušce potvrdilo. Obrobek nebyl valné kvality. Docházelo zde k podřezání chráněných ploch, při soustružení k vibracím, které se při dokončovacích operacích projeví formou nepravidelných vrypů od ostří nástroje. Při frézování docházelo k vyламování bočních stran pyramidek. Je však důležité podotknout, že šlo o zkoušku nástrojových drah, která proběhla úspěšně a s nežádoucími vlivy bylo počítáno již předem.



Obr. 33 – Zkušební polotovár



Obr. 34 – Zkušební soustružení



Obr. 35 – Zkušební frézování



Obr. 36 – Obrobený zkušební výrobek



## 4.4 Finální výroba součástí

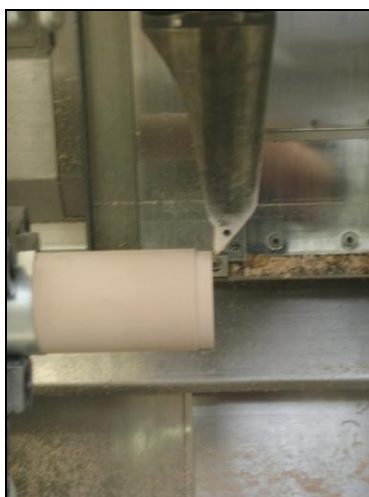
Po správném zkrácení polotovaru nedocházelo již k žádnému nežádoucímu podřezání ani vibrování polotovaru. Tuhost, jakost a přesnost obráběných ploch byly v pořádku. Operace probíhaly podle dané simulace. Tedy zarovnání čela (Obr. 38), soustružení prstenců (Obr. 39), frézování rádiu po soustružení (Obr. 40), tvorba drážek pomocí radiální rotace (Obr. 41) a upíchnutí výrobku (Obr. 42). V tomto případě nedošlo k úplnému upíchnutí materiálu, ale pouze k částečnému, z důvodu úmyslně zvoleného krátkého upichovacího nože. Jelikož není umělé dřevo příliš pevné, upíchnutý výrobek byl ulomen a zbylý materiál obroušen pomocí pilníku a brusného papíru.



Obr. 37 – Polotovar před soustružením čela



Obr. 38 – Soustružení čela

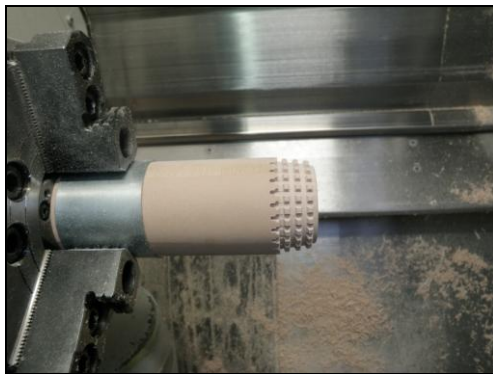


Obr. 39 – Soustružení prstenců



Obr. 40 – Frézování prstenců





Obr. 41 – Frézování pomocí rad. rotace



Obr. 42 – Upíchnutí součásti

## 5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce umožnila prakticky vyzkoušet studentskou verzi programu EdgeCAM 12.50.0 a jeho následnou aplikaci na NC stroji Mazak INTEGREX 100 – IV.

Zhotovován byl tvarově složitý výrobek a při jeho tvorbě se vyskytly různé problémy, které bylo nutno řešit. Např.: Při hrubování, viz. 3.5.1.2, musel být nůž vychýlen o úhel  $82^\circ$ , protože jinak by pracovní nástroj narážel do pyramidek na obrobku a tím by byl celý výrobek znehodnocen. Další problém, který se vyskytl, bylo špatné nastavení normál, působících na vytvořených pomocných plochách, viz 3.5.7, jejich orientace nástroj směřovala do obrobku. Při upichování, viz 3.6, byl zvolen kratší pracovní nástroj. Tento postup byl vybrán, protože při úplném oddělení výrobku by došlo k pádu do vany stroje a k jeho znehodnocení. Po upíchnutí byl výrobek odlomen od polotovaru a zbylý výčnělek upraven ručně.

Technologie třískového obrábění byla shledána jako použitelná. Postup, který byl vytvořen podle studentské verze programu EdgeCAM 12.50.0, bylo možné bez větších problémů uvést do výroby. Prototypový model by mohl sloužit i jako podklad pro vytvoření formy na odlévání. Tento díl by bylo možné vyrobit i jinými technologickými postupy. Jako je například Rapid Prototyping, formou 3D tisknutí. Při výrobě modelů touto cestu se materiál přidává (většinou plasty ve formě kapek, strun nebo jiných pevných skupenství) po jednotlivých vrstvách. Ve srovnání s třískovým obráběním není systém Rapid Prototyping téměř vůbec náročný na přípravu. Záleží na tvaru modelu jak dlouho bude tisk probíhat. Výrobky zhotovovány touto metodou nemívají takovou pevnost. Proto je metoda používána především pro posouzení designu, v marketingu, kdy je zákazníkovi předveden produkt, a potom je možné s ním konzultovat jeho představy a plány.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Nápopvěda programu EdgeCAM, Výukové kurzy EdgeCAM  
dostupnost na URL: <<http://www.edgecamcz.cz/>>, využití přímo v programu
  
- [2] Keller, P.: Programování a řízení CNC strojů – část 2. Prezentace přednášek. TU v  
Liberci, KVS. Liberec 2005. Dostupnost na URL:  
< <http://stare.kvs.tul.cz/>>
  
- [3] Misan [online] [cit. 2.5.2011]; Dostupnost na URL:  
<<http://www.misan.cz/mazak/katalog-detail/igx100iv-integrex-100-iv/>>
  
- [4] Fořt, P.; Mikšík, T.; Novák, P.: DesignTech [online], Když se řekne PLM,  
Dostupnost na URL:  
<<http://www.designtech.cz/c/plm/kdyz-se-rekne-plm.htm>>
  
- [5] Keller, P.: Představení obráběcího centra MAZAK INTEGREX 100-IV. *In. XVI. mezinárodní vědecké sympozium TU Liberec - TU Dresden 2007*. Liberec 5. 9. 2007.  
ISBN 978-80-7372-247-0

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- 1) Obsah CD (NC kódy, Simulace výroby, text bakalářské práce ve formátu DOC a PDF)